Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 1, Spring. 2019, p. 169-186

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۱۸۶-۱۶۹

بررسی تاثیر تغییر اقلیم در آینده نزدیک بر تولید گندم آبی منطقه تربت جام: مطالعه موردی

سید فرهاد صابرعلی[1*]، حسین نستری نصرآبادی[2]، محمد دوستخواه احمدی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۲۷

چکیده

کشاورزی، که عامل تأمین نیاز غذایی و ثبات اقتصادی و امنیتی هر جامعه‌ای است، می‌تواند تحت تاثیر نوسانات اقلیمی هر منطقه قرار گیرد. بررسی تاثیر اقلیم بر تولید محصولات زراعی همچون گندم که یک محصول راهبردی در تأمین امنیت غذایی جامعه ایرانی است از اهمیت دوچندانی برخوردار است. هدف از این مطالعه پیش‌بینی اثرات تغیر اقلیم در آینده نزدیک بر عملکرد گندم آبی در منطقه تربت‌جام با بیشترین سطح زیر کشت در استان خراسان رضوی بود. در این تحقیق از برنامه MarkSim تحت چهار سناریوی انتشار RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 برای تولید داده‌های اقلیمی در دوره آینده نزدیک (۲۰۴۷-۲۰۱۸) استفاده شد. در نهایت داده‌های اقلیمی خروجی از برنامه MarkSim به‌عنوان داده‌های آب و هوایی ورودی برای اجرای مدل شبیه‌سازی رشد گیاهان زراعی DSSAT مورد استفاده قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی رشد گندم آبی در دوره پایه نشان داد که این گیاه کاهش دوره رشد و افزایش تولید ماده خشک و عملکرد را در دوره ۲۰ ساله اخیر تجربه کرده است. افزایش بارش‌های بهاری و همچنین افزایش دما در طول فصول سرد سال ازجمله دلایل این افزایش بوده است. همچنین افزایش دما در طول فصل سرد سال و افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در آینده نزدیک تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم افزایش حدود ۲۰ تا ۲۵ درصدی تولید دانه گندم را باعث خواهند شد. اگرچه میزان این افزایش تولید در خاک‌های سبک‌تر کمتر از خاک‌های سنگین‌تر منطقه بود. همچنین مشخص گردید، با وجود احتمال کاهش حداقل ۳۰۰ متر مکعب آب آبیاری در هر هکتار در طول دوره رشد گندم در ۳۰ سال آینده، در نهایت با به‌کارگیری سیستم‌های آبیاری با راندمان بالاتر احتمالاً افزایش تولید با تغییرات چندانی روبه‌رو نخواهد شد.

واژه‌های کلیدی: افزایش دما، سناریوی انتشار، شبیه‌سازی، DSSAT، MarkSim

مقدمه

افزایش جمعیت و توسعه صنایع و کارخانه‌ها و به تبع آن افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی به‌منظور تأمین انرژی از یک طرف و جنگل‌زدایی و تخریب محیط‌زیست از طرف دیگر باعث افزایش روزافزون گازهای گلخانه‌ای در سطح کره زمین طی دهه‌های اخیر شده است. پس فعالیت‌های انسانی که باعث انتشار گازهای گلخانه‌ای به جو زمین شوند، علت اصلی تغییرات آب و هوایی و افزایش دمای متوسط کره زمین هستند. کشاورزی از جمله بخش‌های تولیدی مهم هر کشور و تأمین‌کننده نیاز غذایی جامعه است که با تأثیرپذیری از شرایط اقلیمی می‌تواند موجب نوسانات شدید اجتماعی، اقتصادی و امنیتی در هر کشوری شود (Easterling, 2011). نوسانات عوامل آب و هوایی در بحث تغییر اقلیم شامل افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفری، دما و نیز نوسان بارندگی است، که به‌طور مستقیم رشد و عملکرد گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Landau *et al*., 2000). از طرفی بیشتر گستره کشور ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده است و نسبت به تغییرات اقلیمی به‌ویژه حرارت و رطوبت که به‌طور مستقم بر نیاز آبی گیاهان اثرگذارند، آسیب‌پذیر هستند. بنابراین به نظر می‌رسد که وقوع احتمالی تغییرات اقلیمی در این مناطق تأثیر قابل‌توجهی بر نظام‌های تولید محصولات کشاورزی داشته باشد (Fischer *et al*., 1994, Koocheki and Kamali, 2010). با توجه به بحران کم‌آبی در ایران و اهمیت نقش پدیده تغییر اقلیم در تشدید آن، مطالعات بیشتر و دقیق‌تر در مورد این پدیده در مقیاس منطقه‌ای و پیش‌بینی پاسخ نظام‌های تولید محصولات کشاورزی به این تغییرات در هر منطقه وجود دارد.

تخمین زده شده است که بالاترین تغییرات دمایی ناشی از تغییرات آب و هوایی در کره زمین هم در دمای حداقل و هم حداکثر تا اواخر قرن بیست یک در آسیا روی دهد (IPCC, 2013). این امر باعث افزایش تقاضای آب محصولات زراعی شده و همچنین ممکن

۱ و ۲- استادیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، مجتمع آموزش عالی تربت جام، خراسان رضوی، ایران
۳- کارشناس ارشد آبیخیزداری، بخش تولیدات گیاهی اداره جهاد کشاورزی تربت جام، خراسان رضوی، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: sf.saberali@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v17i1.74284

است خطر استرس گرما را در طول گلدهی محصولات زمستانه و بهاره، همچون گندم (*Triticum aestivum* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.)، موجود در این منطقه را افزایش دهد. مدل‌ها ابزار کارآمد و مناسبی برای پیش‌بینی خروجی حاصل از سیستم‌های واقعی هستند. مدل‌های شبیه‌سازی رشد نمو و عملکرد گیاهان زراعی، ازجمله ابزار مناسب برای کمی کردن و پیش‌بینی پاسخ رشدی گیاهان زراعی به نوسانات عوامل اقلیمی است. مدل‌های رشد گیاهی در مقایسه با آزمایش‌های انجام شده در محیط‌های کنترل‌شده برای کمی کردن پاسخ رشد گیاهان به افزایش دما و غلظت دی‌اکسید کربن، با صرف زمان و هزینه کم‌تر نتایج قابل قبولی فراهم آورده است (Koocheki and Kamali, 2010). به‌طور مثال کوچکی و نصیری (Koocheki and Nassiri, 2008) با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی رشد گیاهی و بر اساس سناریوهای مختلف اقلیمی تغییرات عملکرد گندم دیم را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که به‌طور متوسط عملکرد گندم دیم در کشور بین ۱۴ تا ۲۲ درصد تا سال ۲۰۵۰ کاهش می‌یابد. در تحقیق دیگری در شمال شرق ایران با استفاده از دو مدل اقلیمی نشان داده شد که تحت شرایط تغییر اقلیم بین عملکرد دانه گندم دیم و بارندگی ارتباط مثبت و قابل‌توجهی وجود دارد و با افزایش بارندگی عملکرد دانه گندم افزایش می‌یابد (Eyshi-Rezaie and Bannayan, 2012). بررسی مهم‌ترین عوامل اقلیمی موثر بر تولید گندم، جو و یولاف در منطقه‌ی آلاسکا نیز نشان داد که نحوه توزیع بارش، کاهش بارندگی و افزاش دما می‌توانند ۷۰ درصد تغییرات محصول سالیانه را در تمام رقم‌های مورد مطالعه توضیح دهد (Sharatt *et al*., 2003). بررسی تاثیر بارندگی و درجه حرارت بر عملکرد گندم دیم در استان خراسان رضوی نشان داد که بارندگی بیش از درجه حرارت بر عملکرد محصول گندم دیم موثر است و بارندگی طی ماه‌های فروردین و اردیبهشت بیش از نیمی از تغییرات عملکرد را توجیه می‌نماید (Talliee and Bahramy, 2003). نتایج یک تحقیق در استان فارس نشان داد که که تحت همه سناریوهای تغییر اقلیم در آینده با افزایش دما و غلظت دی‌اکسید کربن عملکرد دانه گندم آبی در شرایط پتانسیل روند افزایشی خواهد داشت (Einy-Narghese *et al*., 2015). آنها عنوان کردند که به‌طور متوسط تحت سناریوهای مختلف اقلیمی در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ میانگین عملکرد دانه در مقایسه با دوره پایه ۱۲ درصد افزایش خواهد داشت. بررسی‌های دقیق تغییرات اقلیمی در هر منطقه و تجمیع این اطلاعات برای هر استان، کشور و نهایتاً در سطح جهانی، چشم‌اندازی دقیق و کارآمد در جهت تبیین استراتژی‌های بلند مدت مدیریتی برای محقیقین و سیاست‌گذارهای بخش کشاورزی فراهم خواهد کرد (Thorburn *et al*., 2015).

با توجه به عدم قطعیت موجود در مدل‌ها اقلیمی و پیچیدگی‌های سیستم‌های زنده، استفاده از داده‌های هواشناسی تولیدشده توسط مدل‌های اقلیمی در بازه زمانی طولانی‌تر از ۳۰ سال برای شبیه‌سازی پاسخ نظام‌های زراعی، به‌نظر بیش از حد خوش‌بینانه خواهد بود (Moss *et al*., 2010). به‌علاوه ورود دقیق مشخصات خاکی، نظام زراعی و مشخصات ژنتیکی ارقام هر منطقه در مدل‌های شبیه‌سازی از جمله ضروریات تولید خروجی‌های دقیق توسط مدل خواهد بود. در نتیجه در این تحقیق با هدف افزایش دقت برآوردها، مدل در سطح یک شهرستان و در بازه زمانی ۳۰ ساله مورد استفاده قرار گرفت. شهرستان تربت جام با نزدیک ۱۲ درصد از کل کشت گندم آبی استان خراسان رضوی (۱۷۰۹۰ هکتار) و مجموع تولید ۸۷۰۰۰ تن در سال و با متوسط تولید دانه ۴۲۰۰ کیلوگرم در هکتار جایگاه اول تولید گندم استان رو به خود اختصاص داده است (سال‌نامه آماری خراسان رضوی، ۱۳۹۵). با توجه به اهمیت این شهرستان در تولید گندم در استان خراسان رضوی و عدم وجود اطلاعات کافی در مورد تاثیرات تغییر اقلیم در این شهرستان این مطالعه با هدف کمی کردن اثرات احتمالی تغییر اقلیم در ۳۰ سال آینده بر عملکرد گندم آبی منطقه انجام گردید.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، اطلاعات سیستم‌های زراعی منطقه و داده‌های آب و هوایی مورد نیاز برای بررسی اثرات تغییر اقلیم جمع‌آوری شده و در نهایت با استفاده از مدل CERES-Wheat، رشد و عملکرد گندم آبی در پاسخ به این تغییرات تخمین زده شد. بدین منظور از چهارچوب استانداردی که توسط محققین AgMIP (Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project) ارایه شده است، استفاده گردید. AgMIP یک برنامه تحقیقاتی بین‌المللی گسترده در زمینه تغییرات اقلیمی است که بر کشاورزی تمرکز دارد و هدف آن ارائه اطلاعات دقیق در مورد تکنیک‌های شبیه‌سازی جدید و روش‌های صحیح ارزیابی‌هایی اقلیمی است. این برنامه که بیش از ۷۰۰ محقق در بیش از ۴۰ کشور دنیا عضو دارد، به‌منظور کمی کردن و ارزیابی مدل‌های کشاورزی، مقایسه کارایی آنها، بهبود توانایی مدل‌ها در پیش‌بینی تغییرات آب و هوایی و ارزیابی تاثیرات واقعی و پیش‌بینی شده آن در مقیاس منطقه‌ای و جهانی توسعه داده شده است (Rosenzweig *et al*., 2013). در این برنامه بین‌المللی توصیه شده در تحقیقات مربوط به تغییر اقلیم به سه سوال اصلی پاسخ داده شود (Thorburn *et al*., 2015)، که شامل: ۱- پاسخ یا حساسیت در سیستم‌های تولید کشاورزی به تغییرات آب و هوای تا به امروز چگونه بوده است؟، ۲- تاثیر تغییرات آب و هوایی بر تولید محصولات کشاورزی در آینده چگونه خواهد بود؟، ۳- سودمندی مدیریت‌های احتمالی که به‌منظور سازگاری به تغییرات اقلیمی اعمال خواهد شد چه میزان خواهد بود؟ برای پاسخ دادن به این سوالات نیازمند

مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهی هستیم که به‌خوبی ارزیابی و تنظیم شده باشند تا نمایانگر سیستم‌های واقعی کشت منطقه مورد مطالعه باشند. برای رسیدن به این هدف نیاز به اطلاعات آب و هوای موثر بر فرآیندهای رشد گیاه و داده‌ها یا اطلاعات مدیریتی دقیقی از مزارع منطقه داریم (Thorburn *et al*., 2015). داده‌های بلندمدت اقلیمی مورد استفاده در این تحقیق برای اجرای مدل شامل دمای کمینه و بیشینه، بارندگی و تعداد ساعات آفتابی بود، که داده‌های مربوط به زمان گذشته از ایستگاه هواشناسی تربت‌جام و داده‌های مربوط به آینده از یک برنامه تولید داده‌های اقلیمی به‌نام MarkSim به‌دست آمدند. این داده‌ها، به‌عنوان حداقل داده‌های آب و هوایی مورد نیاز برای اجرای مدل CERES-Wheat که در غالب یک بسته شبیه‌سازی جامعی به‌نام DSSAT ارایه می‌شود، توسط یک نرم‌افزار رابطی به‌نام WeatherMan به مدل رشد گیاهی معرفی شد.

برآوردها وضعیت اقلیمی تحت سناریوهای مختلف انتشار گازها و توسط مدل‌های اقلیمی و بیش از همه به‌وسیله مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) انجام می‌گیرد. داده‌های آب و هوای روزانه مورد نیاز با استفاده از یک نرم‌افزار تولید داده‌های اقلیمی به‌نام MarkSim با دقت تقریبی یک کیلومتر تولید شد (Jones and Thornton, 2000). این نرم‌افزار داده‌های آب و هوا را براساس موقعیت جغرافیایی برای سناریوهای مختلف تغییرات آب و هوایی در فرمت قابل استفاده برای DSSAT عرضه می‌کند. در این مطالعه از آخرین سناریوهای ارایه شده در پنجمین گزارش ارزیابی (Fifth Assessment Report, AR5) هیات بین دول تغییرات اقلیمی (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) در سال ۲۰۱۳ استفاده شد (IPCC, 2013). سناریوهای RCP2.6،RCP4.5، RCP6 وRCP8.5، سناریوهای توصیه شده برای بررسی اثرات تغییر اقلیم در مطالعات کشاورزی برای تولید داده‌های اقلیمی هستند (Thorburn *et al*., 2015). با توجه به اینکه کارایی مدل اقلیمی MarkSim در تولید داده‌های اقلیمی در مناطق مختلف دنیا از جمله ایران به اثبات رسیده است (Nouri *et al*., 2016)، نیازی به ارزیابی مجدد این مدل و تایید مجدد دقت یک مدل کارآمد دیده نشد.

اطلاعات اصلی که مبنای شبیه‌سازی سیستم‌های زراعی است بایستی از پایش سیستم‌های مرسوم کشاورزی منطقه استخراج شده باشد، که در این صورت است که عملکرد خروجی حاصل از مدل‌های شبیه‌سازی برای یک شرایط خاص آب و هوا، خاکی و مدیریتی قابل مقایسه با عملکردهای واقعی آن منطقه خواهد بود (Thorburn *et al*., 2015). برخی از مهمترین اطلاعات مورد استفاده برای شبیه‌سازی سیستم زراعی منطقه در جدول ۱ و ۲ ارایه شده است. نتایج ارایه شده در جدول ۲ حاصل جمع‌آوری داده‌های آزمون‌های خاک انجام شده توسط آزمایشگاه‌های تخصصی برای کشاورزان منطقه است. داده‌های گزارش شده متوسط داده‌های ۲۰ مزرعه متفاوت در طی سه سال بوده که سطحی معادل ۵۰۰ هکتار از اراضی زیر کشت گندم شهرستان تربت‌جام را شامل می‌شود. لازم به ذکر است که مساحت تقریبی این شهرستان حدود ۸۱۰۰ کیلومتر مربع و سطح زیر کشت گندم آن حدود۱۷۰۰۰ هکتار است. هرچه اطلاعات مورد نیاز به واقعیت نزدیک‌تر باشد، به دنبال آن نتایج شبیه‌سازی نیز معتبرتر خواهد بود (Thorburn *et al*., 2015)، که بدین‌منظور اطلاعات مورد نیاز از طریق روش توصیه شده گروه AgMIP یعنی پایش منطقه و مشاوره با کارشناسان جهاد کشاورزی منطقه به‌دست آمد. بعد از وارد کردن اطلاعات آب و هوایی، خاکی و مدیریتی مورد نیاز به یک مدل کالیبره شده، از نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده توسط مدل برای پاسخگویی به سوالات مورد نظر استفاده گردید. در این مطالعه از مدل CERES-Wheat کالیبره شده در منطقه استفاده گردید، که ضرایب ژنتیکی آن در جدول ۳ ارایه گردیده است. لازم به ذکر است برای کالیبراسون آن از روش گام به گام و با استفاده از داده‌برداری از سه مزرعه در شرایط عدم تنش در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۵ استفاده گردید. در روش گام به گام ابتدا ضرایب مربوط به فنولوژی و سپس ضرایب مربوط به سطح برگ و ماده خشک و نهایتاً ضرایب مربوط به عملکرد برآورد شد (Wolf *et al*., 1996). بدین منظور از نرم‌افزار کمکی GLUE که در DSSAT به‌منظور تخمین ضرایب ژنتیکی گنجانده شده است نیز کمک گرفته شد. برای پاسخ به سوال اول، از نتایج شبیه‌سازی سیستم زراعی رایج منطقه با استفاده از داده‌های بلند مدت روزانه ایستگاه هواشناسی منطقه بهره برده شد (Thorburn *et al*., 2015)، که در تحقیق حاضر با توجه به قدمت ۲۰ ساله ایستگاه هواشناسی منطقه داده‌های روزانه ثبتی از سال ۱۳۷۷ تا سال ۱۳۹۶ استفاده گردید. برای پیش‌بینی عملکرد گندم ناشی از تغییرات اقلیمی در سال‌های آینده نیز، مدل با استفاده از داده‌های آب و هوایی روزانه تولید شده بر اساس چهار سناریوی RCP2.6،RCP4.5، RCP6 وRCP8.5 توسط MarkSim برای یک دوره ۳۰ ساله (۲۰۴۷–۲۰۱۸) اجرا شد. غلظت دی‌اکسید کربن در میانه این دوره ۳۰ ساله نیز از پایگاه داده CMIP5 (Meinshausen *et al*., 2011) استخراج و در مدل CERES-Wheat به‌عنوان ورودی استفاده شد. سپس برای درک اثرات ناشی از تغییر اقلیم و پاسخ به سوال دوم، نتایج رشد و عملکرد شبیه‌سازی شده گندم با داده‌های آب و هوایی آینده با نتایج رشد و عملکرد شبیه‌سازی شده گندم توسط داده‌های آب و هوایی دوره پایه (۱۳۹۶–۱۳۷۷) مقایسه شد. در نهایت نیز تاثیر تغییرات احتمالی که در سیستم زراعی شبیه‌سازی شده در آینده ممکن است در پاسخ به شرایط تغییر اقلیم رخ دهد، توسط مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به اینکه در گذشته بیش از حد از منابع آب زیرزمینی برداشت شده است، لذا کاهش میزان آب قابل دسترس برای آبیاری و از طرف

دیگر افزایش راندمان آب آبیاری با گسترش بیشتر سیستم‌های آبیاری تحت فشار از جمله سناریوهای حتمی است که سیستم‌های زراعی در آینده نزدیک با آن روبه‌رو خواهند بود. بـدین منظـور فـرض شـد کـه مجموع رطوبت حاصل از افزایش تبخیر و تعـرق پتانسـیل و کـاهش میزان بارش در طول دوره رشد گندم در شرایط تغییر اقلیم در مقایسه با دوره پایه، در آینده قابل تأمین از طریق منابع آب زیرزمینی نخواهد بود. در نتیجه حدود یک میلـی‌متـر در هـر آبیـاری و در مجمـوع ۳۰ میلی‌متر از مقدار کل آب آبیاری مصرفی (۳۰۰ متر مکعب در هکتـار) در طول دوره رشد از آب ورودی مدل کسر گردیـد. محاسـبه ضـریب تغییرات پارامترهای اقلیمی توسط فرمول زیر انجام شد:

$$CV\% = \frac{\sigma}{LTM} \times 100 \qquad (۱)$$

σ انحراف معیار صفت مورد نظر در هر سناریوی اقلیمی و LTM نیز میانگین دراز مدت صفت مورد نظر است.

جدول ۱- جزئیات سیستم زراعی در مدل CERES-Wheat در دوره‌های زمانی مختلف

Table 1- Details of the cropping system inputs for CERES-Wheat model during the different time periods

مشخصات Features	دوره پایه Baseline period	آینده Future period			
		RCP2.6	RCP4.5	RCP6	RCP8.5
تاریخ کشت Planting date	16 October				
تراکم کشت Plant density	350 plant m^{-2}				
عمق کاشت Planting depth	5cm				
مقدار آبیاری Irrigation amount	6500 (m^3 ha)				
کارایی آبیاری Irrigation efficiency	55%	55-70%			
بیشبینه مجاز تخلیه رطوبتی Maximum soil water depletion	65%				
مقدار کود نیتروژنی Nitrogen fertilizer rate	150 kg ha^{-1}				
غلظت دی‌اکسید کربن Co_2 concentration	384 ppm	434 ppm	446 ppm	437 ppm	464 ppm
عمق موثر ریشه Effective root depth	60 cm				
بافت خاک Soil texture	Clay loam, Loam and Sandy clay loam				

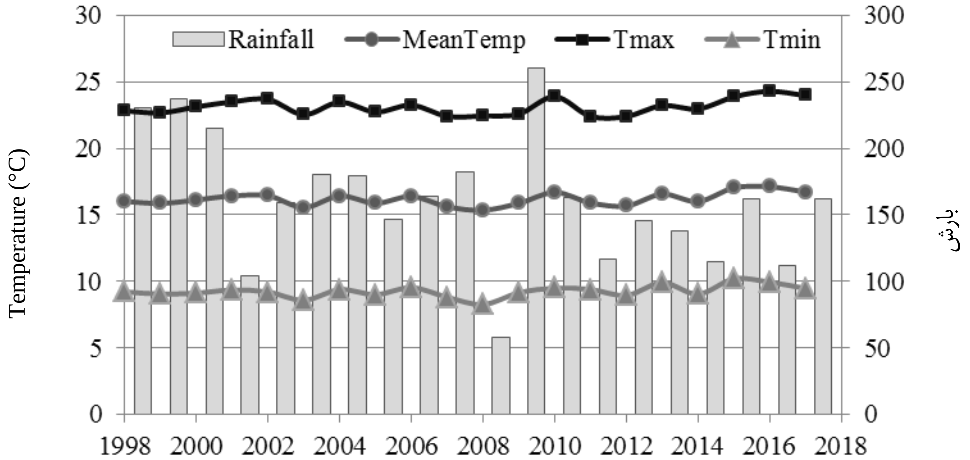
جدول ۲- متوسط خصوصیات خاک‌های منطقه تربت‌جام در عمق ۰-۳۰

Table 2- Average characteristics of the Torbat-e Jam soils at depth of 0-30

بافت خاک Soil texture	پتاسیم K (ppm)	فسفر P (ppm)	نیتروژن کل Total N (%)	کربن آلی Organic C (%)	شوری EC (dS m^{-1})	اسیدیته pH
Clay loam	280	9	0.06	0.5	4.3	7.7
Sandy clay loam	180	6	0.03	0.35	3.6	7.5
Loam	260	10	0.05	0.45	4.1	7.3

جدول ۳- ضرایب ژنتیکی گندم در مدل CERES-Wheat
Table 3- Genetic coefficients of wheat in the CERES-Wheat model.

ضرایب Coefficients	توصیف Definition
P1V	Days at optimum vernalizing temperature required to complete vernalization
P1D	Percentage reduction in development rate in a photoperiod shorter than the threshold (10 hour)
P5	Duration of the grain filling phase (°C d)
G1	Kernel number per unit canopy weight at anthesis (kernels g^{-1})
G2	Standard kernel size under optimum conditions (mg)
G3	Standard, non-stressed dry weight of a single tiller at maturity (g)
PHINT	Interval between successive leaf tip appearances (°C d)



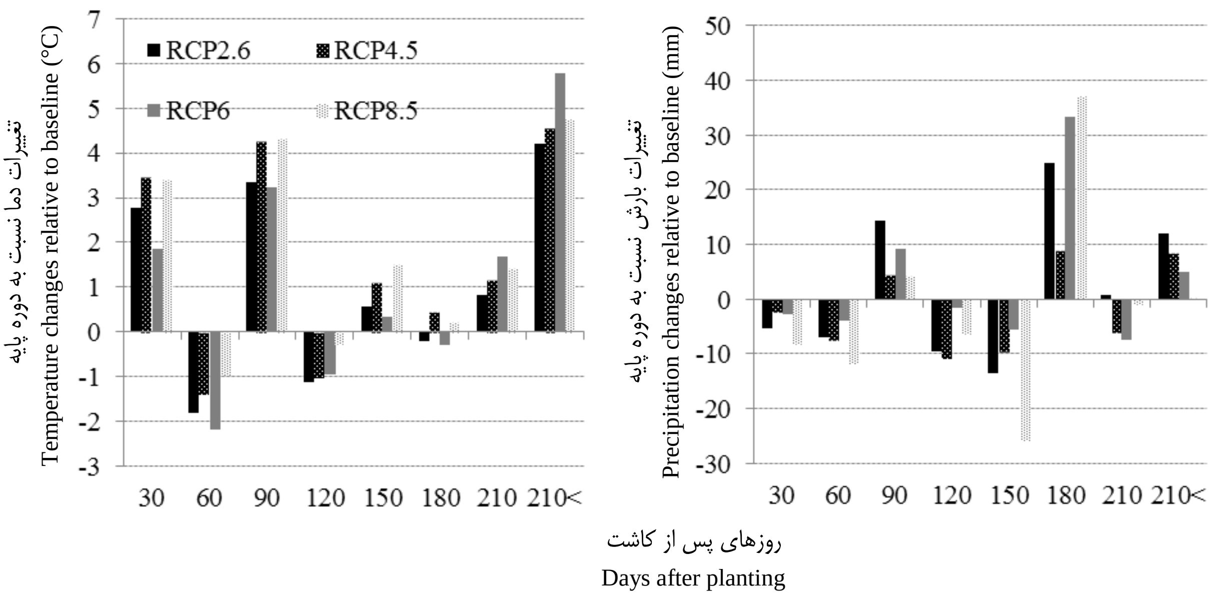
شکل ۱- متوسط بارش و درجه حرارت‌های سالانه حداکثر، حداقل و میانگین آنها در یک دوره ۲۰ ساله در منطقه تربت جام
Figure 1- Yearly maximum, minimum and mean temperature and precipitation during 20 years period for Torbat-e Jam, Iran

نتایج و بحث

تغییرات عوامل آب و هوایی

با توجه به اینکه داده‌های هواشناسی در شهرستان تربت‌جام از سال ۱۳۷۷ تاکنون ثبت شده است، لذا تغییرات آب و هوایی در این بازه زمانی به‌عنوان دوره پایه بررسی شد. بررسی متوسط دما و بارش در پنج ساله ابتدایی و انتهایی این دوره پایه ۲۰ ساله نشان داد که میانگین دمای حداقل به میزان ۰/۵۲ درجه سانتی‌گراد و دمای حداکثر ۰/۵۰ درجه سانتی‌گراد و به‌طور متوسط ۰/۵۱ درجه سانتی‌گراد در طول این ۲۰ سال افزایش داشته است (شکل ۱). همچنین بررسی میانگین دما در طول دوره رشد گندم (۲۰ مهر تا اواسط خرداد) نشان داد که دما در طول این دوره ۲۰ ساله حدود ۱/۶ درصد در پنج ساله انتهای دوره نسبت به پنج ساله اول دوره بیشتر بود (جدول ۴). از طرفی متوسط میزان بارش سالیانه نیز در پنج سال انتهایی این دوره ۲۰ ساله ۵۱ میلی‌متر کمتر از پنج ساله ابتدایی این دوره بوده است (شکل ۱). تغیرات احتمالی متغیرهای آب و هوایی در ۳۰ سال آینده نسبت به دوره پایه در طول دوره رشد گندم نیز نشان داد که تغییرات دما در طول فصل رشد بین ۲/۲- تا ۵/۷ خواهد بود. همچنین به‌طور متوسط گندم در طول دوره رشد خود افزایش ۱/۱، ۱/۶، ۱/۲و ۱/۸ درجه سانتی‌گرادی را به‌ترتیب تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 تا ۳۰ سال آینده تجربه خواهد کرد (شکل ۲). ضریب تغییرات سالیانه دما نیز در دوره پایه حدود ۶ درصد و در شرایط تغییر اقلیم تحت سناریوهای RCP2.6،RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 به‌ترتیب ۳/۳، ۲/۹، ۳/۴ و ۳ درصد بود. نکته قابل توجه این است که گندم افزایش ۴/۲ تا ۵/۷ درجه سانتی‌گرادی را در مراحل پایانی دوره پر شدن دانه خود (۲۱۰ تا ۲۲۶ روز بعد از کاشت)، تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیمی نسبت به دوره پایه تجربه خواهد کرد. نتایج همچنین نشان داد میزان بارش در طول دوره رشد

گندم تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به‌ترتیب ۹ و ۸ درصد کاهش و تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP6 به‌ترتیب ۱۱ و ۱۷ درصد افزایش خواهد داشت (شکل ۲). پراکنش بارش نیز نشان داد که در شریط تغییر اقلیم، میزان بارش در زمان قبل از گل‌دهی تا دوره پر شدن دانه در گندم بیشتر از دوره پایه خواهد بود (شکل ۲). ضریب تغییرات سالیانه بارش نیز نشان داد که ضریب تغییرات در دوره پایه حدود ۳۰ درصد بود و در شرایط تغییر اقلیم نیز تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 به‌ترتیب ۱۸/۴، ۱۳، ۲۸/۷ و ۲۱/۵ درصد بود.



شکل ۲- میانگین تغییرات بلندمدت بارش و دما در آینده در طول دوره رشد گندم تحت چهار سناریو مختلف اقلیمی نسبت به دوره پایه در منطقه تربت‌جام

Figure 2- Mean of long-term variations in precipitation and temperature for the near future during wheat growth period under four different climate scenarios compared to precipitation and temperature of Torbat-e Jam in baseline

عرفانیان و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی شاخص‌های مربوط به دما در دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰ گزارش کردند که به‌طورکلی در استان خراسان رضوی تعداد روزهای یخبندان و روزهای یخی کاهش یافته، و بالعکس تعداد روزهای آفتابی و نهایتاً دما روند افزایشی داشته است. همچنین افزایش ۳ درجه سانتی‌گرادی در میانگین دمای سالانه مشهد در دوره ۵۰ ساله (۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰) گزارش شده است (Ahmadi and Radmanesh, 2014). باباییان و نجفی نیک (Babaeyan and Najafi-Nik, 2011) افزایش ۱/۵ درجه سانتی‌گرادی دما در استان خراسان رضوی را تا سال ۲۰۳۹ پیش‌بینی کردند. آنها همچنین گزارش کردند که به‌طور متوسط میزان بارش با کاهش متوسط ده درصدی در استان خراسان رضوی در یک دوره ۱۷ ساله (۲۰۰۵-۱۹۹۸) روبه‌رو بوده است، با این‌وجود توزیع بارش‌ها نشان داد که میزان بارش‌های اواخر زمستان و بهار در این دوره افزایش داشته است. مطالعه تغییرات اقلیمی در آسیا نیز نشان داد که بین سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۲، منطقه مغولستان چین شاهد افزایش ۰/۳ درجه سانتی‌گرادی در دما و کاهش ۴/۳ میلی‌متری بارش‌ها در هر دهه بوده است (Dong *et al*., 2018).

تغییرات عملکرد و ماده خشک تولیدی در ۲۰ سال گذشته

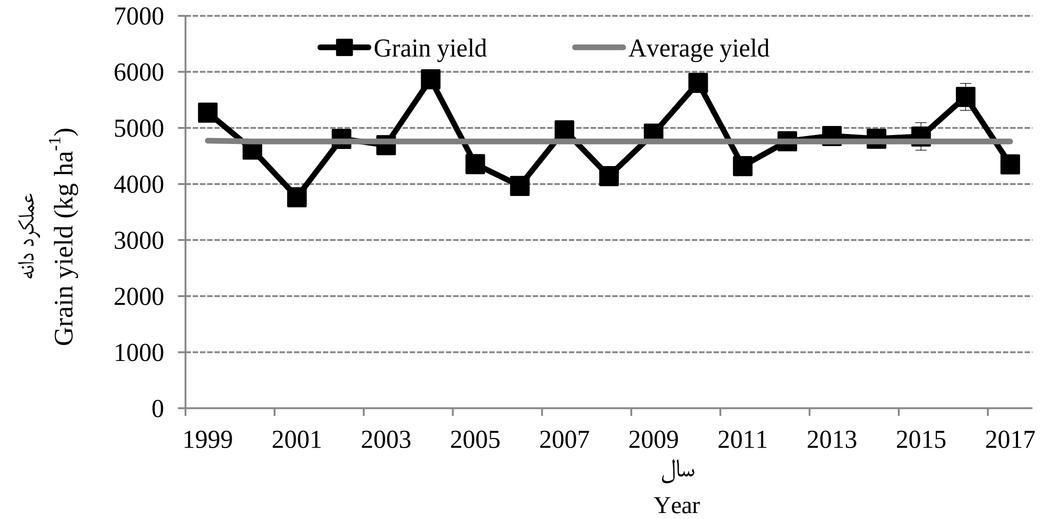
بررسی تغییرات عملکرد دانه گندم شبیه‌سازی شده توسط مدل CEREC-Wheat در دوره پایه (۱۳۷۷ تا ۱۳۹۶) نشان داد که متوسط عملکرد دانه گندم در پنج سال ابتدایی این دوره ۴۶۳۱ کیلوگرم در هکتار بود و در پنج سال انتهایی این دوره به ۴۸۸۴ کیلوگرم در هکتار رسید (جدول ۴). بدین ترتیب یک افزایش ۵ درصدی در میزان عملکرد گندم در این دوره ۱۹ ساله کشت گندم مشاهده می‌شود. بررسی انحراف معیار عملکرد گندم در خاک‌های متفاوت نیز نشان داد که میزان تغییرات عملکرد گندم از سال‌های ابتدایی این دوره به سمت سال‌های پایانی آن کاهش یافته است (شکل ۳). دلیل کاهش انحراف معیار عملکرد در سال‌های اخیر می‌تواند ناشی از تغییر پراکنش بارش و افزایش سهم بارش‌های بهاری از کل بارش‌ها باشد (شکل ۴). در واقع تغییر پراکنش بارش‌ها به سمت بهار، باعث شده است که تاثیر تفاوت ظرفیت ذخیره رطوبتی

بافت‌های متفاوت خاکی بر عملکرد گندم کمتر شده باشد. به‌علاوه بررسی تغییرات ماده خشک تولیدی گندم در دوره پایه نیز نشان داد که متوسط ماده خشک تولیدی گندم در پنج ساله ابتدایی این دوره نسبت به پنج ساله انتهایی دوره حدود ۲/۳ درصد افزایش یافته است (جدول ۴). با توجه به کاهش میزان بارندگی سالانه و عدم تغییر میزان تشعشع خورشیدی و همچنین ثابت در نظر گرفتن غلظت دی‌اکسید کربن و مدیریت کودی در طول دوره پایه، مهمترین دلیل افزایش ماده خشک تولیدی می‌تواند ناشی از تغییرات دما و پراکنش بارش در طول فصل رشد زراعی باشد. بررسی‌ها نشان داد که باوجود کاهش میزان کل بارش‌ها در سال‌های پایانی دوره مورد مطالعه نسبت به سال‌های ابتدایی آن، توزیع بارش‌ها در زمان رشد زایشی گندم در سال‌های انتهایی دوره مورد مطالعه ۵۰ درصد بیشتر از سال‌های ابتدایی آن بوده است (شکل ۴). همچنین افزایش دما در طول دوره رشد به‌خصوص در طی فصل سرد می‌تواند موجب تسریع سرعت رشد و نمو برگ و نهایتاً افزایش کسر نور جذبی توسط گندم شود. بررسی کسر نور جذبی گندم حاکی از افزایش ۲/۴ درصدی افزایش کسر نور جذبی در پنج ساله پایانی دوره پایه نسبت به ۵ ساله ابتدایی آن دارد (جدول ۴). به‌علاوه بررسی شاخص برداشت نیز نشان داد که میزان شاخص برداشت در گندم از ۳۸ درصد در پنج سال ابتدای دوره پایه به ۳۹ درصد در انتهای دوره پایه افزایش یافت (جدول ۲). دلیل افزایش شاخص برداشت گندم را نیز می‌توان به تغییر توزیع بارش‌ها در طی این دوره ۲۰ ساله نسبت داد، به‌طوری‌که با وجود کاهش بارش‌ها در زمان رشد رویشی گندم میزان بارش‌ها بعد از مرحله گرده‌افشانی گندم (تقریباً اواخر فروردین) در طی ۲۰ سال گذشته از حدود ۱۰ میلی‌متر به ۲۰ میلی‌متر افزایش یافته است (شکل ۴). لازم به ذکر است با شروع فصل بهار و کشت محصولات با ارزش اقتصادی بیشتر به‌ویژه کشت خربزه در منطقه، اولویت کشاورزان منطقه تأمین آب برای محصولات با ارزش‌تر می‌باشد و بدین ترتیب دور آبیاری گندم به‌منظور تأمین آب مورد نیاز برای کشت صیفی‌جات مورد اشاره افزایش می‌یابد. بنابراین به‌دلیل عدم دسترسی به میزان آب کافی در منطقه، وجود بارندگی‌های بهاره حکم آبیاری‌های تکمیلی در کشت گندم آبی را داشته و باعث افزایش شاخص برداشت شده است. در واقع افزایش کسر نور جذبی توسط گندم و دسترسی به رطوبت بیشتر در طول رشد زایشی گندم در سال‌های پایانی دوره پایه، منجر به افزایش تولید ماده خشک و همچنین تخصیص بیشتر ماده خشک به بخش عملکرد شده و نهایتاً افزایش عملکرد دانه گندم را در سال‌های پایانی دوره مورد مطالعه نسبت به سال‌های ابتدایی آن باعث شده است. همچنین بررسی نیاز آبی گندم (مجموع تبخیر و تعرق در طول فصل رشد) نشان داد که نیاز آبی گندم در ۵ ساله انتهای دوره پایه نسبت به پنج سال ابتدای آن در حدود ۵ میلی‌متر (۱ درصد) افزایش یافته است (جدول ۴)، که دلیل این افزایش اندک باوجود افزایش یک درصدی دما می‌تواند ناشی از کاهش سه روزه طول فصل رشد گندم در انتهای دوره مورد مطالعه باشد.

جدول ٤- میانگین متغیرهای آب و هوایی در طول دوره رشد گندم و صفات رشدی شبیه‌سازی شده گندم در پنج سال ابتدایی و انتهایی دوره پایه

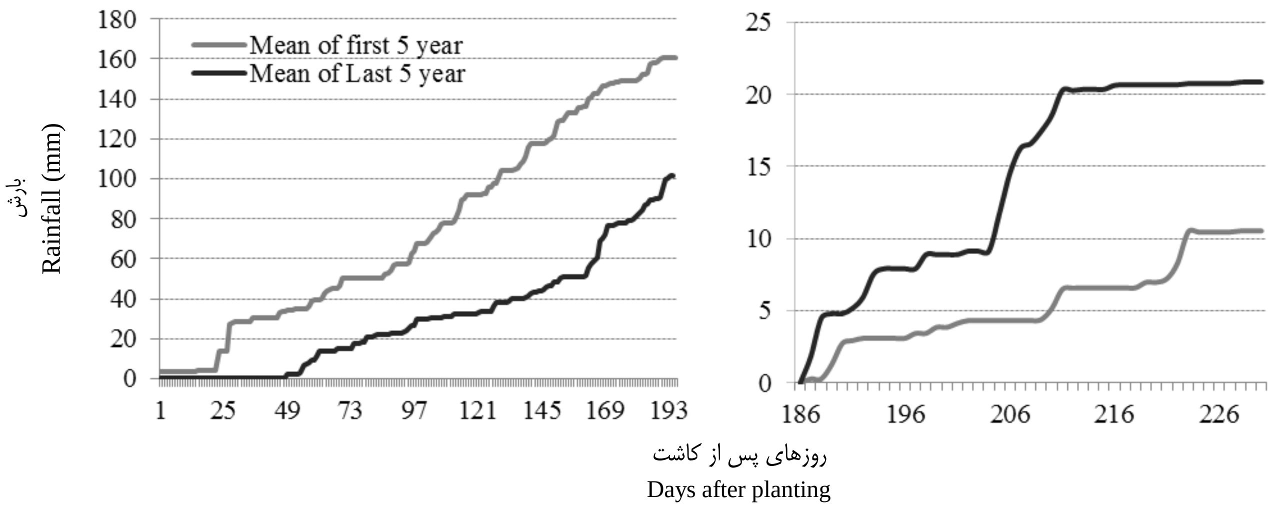
Table 4- Mean weather variables during wheat growth period and simulated growth parameters of wheat in the first and last 5 years of the baseline period

دوره پایه (۲۰ ساله) Baseline period (20 years)	میانگین درجه حرارت قبل از گرده‌افشانی Average temperature before anthesis (°C)	میانگین درجه حرارت بعد از گرده‌افشانی Average temperature before anthesis (°C)	طول دوره رشد Total growth period (days)	متوسط میزان تشعشع خورشیدی Average solar radiation ($MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$)	متوسط کسر نور جذبی در کل دوره رشد Average Light interception ration during growth period (%)	نیاز آبی water needs (mm)	عملکرد دانه Grain yield ($kg\ ha^{-1}$)	کل ماده خشک تولیدی Total biomass production ($kg\ ha^{-1}$)	شاخص برداشت Harvest index (%)
۵ سال ابتدایی First 5 years	9.67	18.44	226	16.24	45.7	465	4631	12912	38
۵ سال انتهایی Last 5 years	9.82	18.53	223	16.25	46.8	470	4884	13210	39
میزان تغییرات Variation (%)	+1.5	+0.5	-1.3	+0.09	+2.4	+1.0	+5.0	+2.3	+1



شکل ۳- تغییرات سالانه عملکرد دانه گندم شبیه‌سازی شده در سه خاک لومی رسی، رسی و لوم رسی شنی در منطقه تربت جام بین سال‌های ۱۳۷۷ تا ١٣٩٦

Figure 3- Annual variations of simulated wheat grain yield in clay loam, loam and sandy clay loam soils during 1998-2017 in Torbat-e Jam



شکل ٤- متوسط بارش در فصل کشت در زمان قبل (سمت چپ) و بعد از گرده‌افشانی (سمت راست) گندم. داده‌ها متوسط ۵ سال ابتدایی و ۵ سال انتهایی دوره مورد مطالعه (۱۳۷۷-١٣٩٦) است

Figure 4- Mean of precipitation before (left) and after (right) wheat anthesis during growth season. Data are the average of first and last 5 years in the period of baseline (1999-2017)

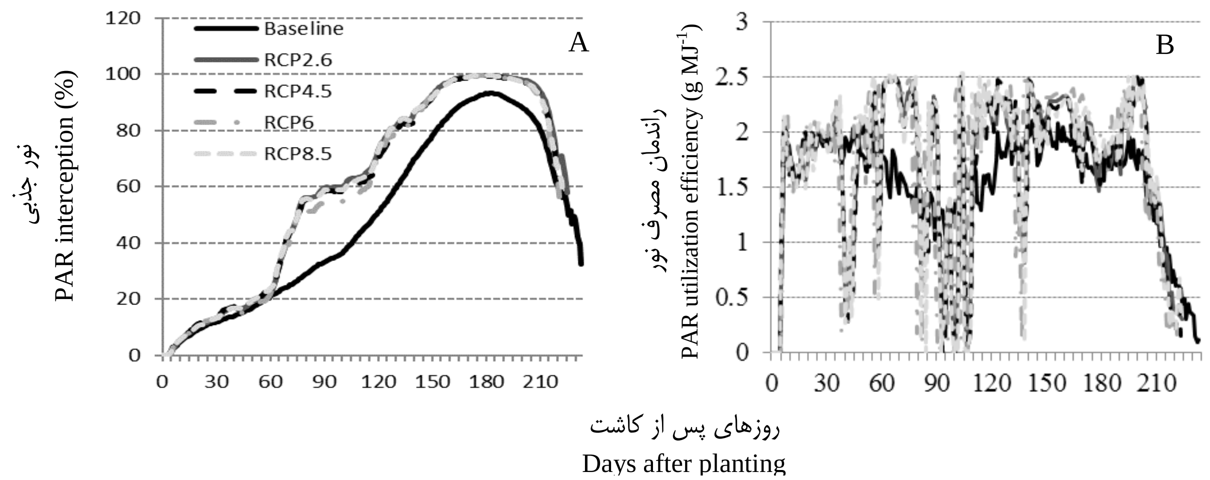
نتایج تحقیقات نشان داده است که افزایش دما طی ماه‌های آبان، آذر، بهمن، اسفند و فروردین تاثیر مثبتی بر عملکرد گندم و جو دیم دارد (Mosaedi *et al*., 2015). این محققین همچنین بیان کردند که با توجه به یخبندان‌های زمستانه در منطقه، افزایش دما در این ماه‌ها برای شروع فتوسنتز و رشد مجدد مفید می‌باشد. این در حالی است که افزایش دما طی ماه‌های پایانی دورهٔ رشد (اردیبهشت و خرداد) از طریق افزایش تبخیر و تعرق و ایجاد تنش‌های گرمایی سبب کاهش عملکرد می‌گردد. گزارش شده است که بارندگی در ماه‌های فروردین و آبان رابطه بیشتری با عملکرد گندم دیم در منطقه خراسان دارد، به طوری که می‌توان با مقدار

بارندگی در این دو ماه عملکرد را با دقت قابل‌قبولی برآورد کرد (Tatari, 2008). نتایج یک مطالعه در استرالیا نشان داد که افزایش دما مسئول ۳۰ تا ۵۰ درصد از عملکرد تولیدی گندم بوده است، زیرا روند افزایشی دما از طریق بالا بردن دمای کمینه و کاهش تعداد وقوع یخبندان بر عملکرد تأثیر مثبت داشته است (Nicholls, 1997). در چین نیز گزارش شد که عملکرد گندم آبی در صورت تأمین آب کافی افزایش و عملکرد گندم دیم با توجه به کاهش بارندگی‌ها کاهش خواهد یافت (Lv *et al*., 2013). کاهش طول دوره رشد و افزایش تبخیر تعرق در طول دوره رشد گندم آبی نیز در شرایط تغییر اقلیم در کشور چین گزارش شده است (Lv *et al*., 2013). محققین گزارش کردند که افزایش دما در شرایط تغییر اقلیم باعث تجمع سریع‌تر درجه روزهای رشد گندم و درنتیجه باعث افزایش سرعت توسعه کانوپی می‌شود (Kirby *et al*., 1990)، که این افزایش سرعت توسعه برگ و کانوپی در شرایط عدم تنش رطوبتی و عناصر غذایی می‌توانند منجر به افزایش راندمان مصرف نور جذبی گردد (Ludwig and Asseng, 2006).

تغییرات عملکرد در آینده نزدیک با فرض ثابت بودن مدیریت های زراعی

بررسی طول دوره رشد گندم برای یک دوره۳۰ ساله در آینده نزدیک (۲۰۱۸–۲۰۴۷) به‌وسیله مدل شبیه‌سازی رشد گندم نشان داد که طول دوره رشد تا گرده‌افشانی از حدود ۱۹۶/۶ روز در دوره پایه به ۱۹۳/۸، ۱۹۳/۷، ۱۹۳ و ۱۹۲/۶ روز به‌ترتیب تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 RCP6 وRCP8.5 کاهش خواهد یافت (جدول ۵). طول دوره پر شدن دانه (فاصله بین گرده‌افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیک) نیز از ۲۹ روز در دوره پایه به حدود ۲۷/۲، ۲۶/۹، ۲۶ و ۲۶/۹ روز، به‌ترتیب تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 RCP6 و RCP8.5 کاهش خواهد یافت (جدول ۵). همانطور که مشاهده می‌شود نسبت کاهش طول دوره پر شدن دانه در مقایسه به طول دوره رشد رویشی گندم بیشتر است (جدول ۵)، که با توجه به افزایش شدیدتر دما در اواسط طول دوره پرشدن (شکل ۲) در مقایسه با دوره رشد رویشی گندم قابل‌توجیه است. بررسی تغییرات عملکرد نیز نشان داد که عملکرد دانه در خاک لومی رسی از مقدار ۵۰۷۴ کیلوگرم در هکتار در دوره پایه به ۵۵۹۸، ۶۲۵۱، ۶۳۹۴ و ۶۶۷۳ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 وRCP8.5 افزایش خواهد یافت. همچنین در خاکی با بافت لومی عملکرد دانه از ۴۹۹۲ کیلوگرم در هکتار در دوره پایه به ۶۱۳۱، ۵۹۷۷، ۶۲۳۵ و ۶۱۸۵ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 وRCP8.5 افزایش خواهد یافت. در خاک لومی رسی شنی نیز مقدار عملکرد از ۴۲۱۲ کیلوگرم در هکتار در دوره پایه به ۵۰۹۵، ۴۸۹۷، ۵۲۰۰ و ۵۰۲۳ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 افزایش خواهد یافت (جدول ۵). بدین ترتیب بررسی پاسخ عملکرد گندم به تغییر اقلیم نشان داد که افزایش عملکرد گندم آبی در خاک‌های با بافت رسی بیشترین و در خاک‌های لومی رسی شنی کمترین مقدار بود. به‌طور میانگین عملکرد دانه گندم با مختلف با در طی روند تغییر اقلیم در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 به‌ترتیب شاهد افزایش ۲۴/۸، ۱۹/۹، ۲۴/۹ و ۲۵/۲ درصدی در منطقه تربت‌جام خواهد بود. به‌منظور فهم چرایی افزایش عملکرد در شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه، کسر نور جذبی و راندمان مصرف نور گندم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میانگین کسر نور جذبی در طول دوره رشد تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 به‌ترتیب حدود ۲۴/۶، ۲۲/۹، ۲۰/۸ و ۲۳/۸ درصد بیشتر از کسر نور جذبی در دوره پایه خواهد بود (شکل ۵). کاهش تعداد روزهای یخبندان و افزایش تعداد روزهای آفتابی و نهایتاً دما در طول دوره رشد می‌تواند منجر به استقرار سریع‌تر سطح برگ و نهایتاً افزایش پتانسیل جذب نور در شرایط تغییر اقلیم شود. بررسی راندمان مصرف نور نیز نشان داد که راندمان مصرف نور گندم در شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه افزایش یافته بود (شکل ۵). به‌طوری‌که میانگین راندمان مصرف نور در طول دوره رشد گندم تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 حدود ۷/۳، ۵/۵، ۷/۲ و ۸/۳ درصد بیشتر از راندمان مصرف نور در دوره پایه خواهد بود. باوجود افزایش ۱۳ تا ۲۱ درصدی غلظت دی‌اکسید کربن و افزایش حدود ۲۱ تا ۲۵ درصدی کسر نور جذبی تحت شرایط تغییر اقلیم نسبت به شرایط پایه، به‌دلیل تنش‌های خشکی و دمایی اتفاق افتاده در طول دوره رشد کارایی مصرف نور متناسب با آنها افزایش نیافته است. تنش سرمایی (درجه حرارت‌های ۱۴- تا ۰/۴۴) در طول ۸۵ تا ۱۲۰ روز پس از کاشت (اواسط مرحله پنجه‌زنی) مهمترین عامل کاهش راندمان مصرف نور در طول دوره رشد رویشی و تنش‌های حرارتی و خشکی در طول دوره پر شده دانه مهمترین عوامل کاهش راندمان مصرف نور در طول دوره پر شدن دانه در شرایط تغییر اقلیم بودند (شکل‌های ۲ و ۵). باوجود تنش‌های مقطعی و کاهش طول دوره رشد گندم در شرایط تغییر اقلیم، نتایج نشان داد که افزایش راندمان مصرف نور در کل دوره رشد گندم و همچنین افزایش شاخص برداشت ناشی از بارش‌های بهاری بیشتر (شکل ۲)، منجر به افزایش عملکرد دانه در شرایط تغییر اقلیم خواهد شد. در تحقیقات متعدد افزایش دما به علت افزایش سرعت رشد و نمو مهمترین عامل گل‌دهی زودتر و کاهش طول دوره رشد گندم عنوان شده است (Einy-Narghese *et al*., 2015; Lv *et al*., 2013). کاهش طول دوره رشد غلاتی همچون ذرت (*Zea mays* L.) (Jones and Thornton, 2003) و برنج (*Oriza sativa* L.) (Prasad *et al*., 2006) نیز در پاسخ به افزایش

دما گزارش شده است. لال و همکاران (Lal *et al*., 1998) گزارش کردند که یک درجه سانتی‌گراد افزایش دما منجر به کاهش حدود ۵ روزه در زمان گلدهی گندم خواهد شد. بررسی پاسخ عملکرد گندم به تغییرات اقلیمی نشان داد که عملکرد دانه گندم دیم به دلیل افزایش تنش‌های آبی و گرمایی کاهش و عملکرد دانه گندم آبی به شرط تأمین نیاز آبی آن افزایش خواهد داشت (Lv *et al*., 2013; Koocheki and Nassiri, 2008). به‌طور مثال Koocheki and Nassiri, 2008 با استفاده از نتایج شبیه‌سازی و بر اساس سناریوهای مختلف اقلیمی به این نتیجه رسیدند که به طور متوسط عملکرد گندم دیم در کشور بین ۱۴ تا ۲۲ درصد تا سال ۲۰۵۰ کاهش می‌یابد. نتایج شبیه‌سازی عملکرد گندم آبی با مدل APSIM در استان فارس نیز نشان داد که در شرایط تغییر اقلیم تحت سناریوهای مختلف انتشار دی‌اکسیدکربن عملکرد دانه گندم آبی در آینده روند افزایشی نسبت به دوره پایه خواهد داشت (Einy-Narghese *et al*., 2015). عملکرد دانه گندم دیم و آبی در بسیاری از مناطق آسیای مرکزی (قزاقستان) در شرایط تأمین نیاز آبی گندم با وجود تغییر اقلیم تا سال ۲۰۵۰ میلادی ۱۲ درصد افزایش خواهد داشت (Sommer *et al*., 2013). نتایج این پژوهش نشان داد که دمای بالاتر که منجر به استقرار سریع‌تر بوته‌ها و حفظ رشد در ماه‌های سرد سال می‌شود، مهمترین عامل افزایش جذب نور و پتانسیل تولید ماده خشک و عملکرد در شرایط تغییر اقلیم خواهد بود. بررسی تغییر اقلیم در مناطق مختلف هند نیز نشان داد که پتانسیل تولید گندم آبی تا سال ۲۰۵۰ با وجود گرم‌تر شدن هوا در شرایط تأمین نیاز آبی گندم به میزان ۱۴ تا ۳۱ درصد افزایش خواهد یافت (Abeysingha *et al*., 2016). در مناطق مختلف چین نیز تغییرات اقلیمی در مناطق مختلف چین تا سال ۲۰۸۰ میلادی عمدتا باعث کاهش عملکرد دانه گندم در زراعت دیم و افزایش عملکرد آن در گندم آبی خواهد شد (Lv *et al*., 2013)، آنها همچنین مهمترین دلیل افزایش عملکرد دانه گندم در چین را افزایش پتانسیل جذب نور خورشید در شرایط تغییر اقلیم عنوان کردند. افزایش دما در ماه‌های سرد سال، افزایش سرعت اسیمیلاسیون دی‌اکسید کربن و کاهش اندک سرعت تعرق از جمله عوامل موثر بر افزایش پتانسیل تولید در گندم زمستانه عنوان شده است (Kang *et al*., 2009). افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در محصولات زراعی مختلف باعث کاهش آب مصرفی در حدود ۳ تا ۸ درصد و افزایش عملکرد به اندازه ۸ تا ۳۱ درصد شده است (Kimball *et al*., 2002; Tao and Zhang, 2013). تاثیر همزمان افزایش دما و افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در هر منطقه‌ای تعیین‌کننده پاسخ منطقه‌ای گیاهان به تغییر اقلیم خواهد بود، درصورتی که اثرات مثبت افزایش دی‌اکسید کربن بر اثرات منفی حاصل از تنش حرارتی پیشی بگیرد به شرط عدم تنش رطوبتی می‌توانند منجر به افزایش عملکرد شود (Cammarano *et al*., 2006). گزارش شده است که افزایش اندک دما همراه با افزایش دی‌اکسید کربن در محصولا سه کربنه همچون گندم منجر به افزایش عملکرد در شرایط تغییر اقلیم در کشور ایتالیا خواهد شد (Ventrella *et al*., 2012). همچنین بیان شد که کاهش طول دوره پر شدن دانه غلات در مناطق مدیترانه‌ای ایتالیا در شرایط تنش خشکی و دمای بالا از راهکار گریز از تنش و موجب بهبود عملکرد دانه در شرایط تغییر اقلیم است.



شکل ۵- کسر نور جذبی (الف) و راندمان مصرف نور (ب) در گندم در طی دوره رشد تح ت شرایط پایه و سناریوهای مختلف اقلیمی در منطقه تربت‌جام

Figure 5- The ratio of light interception (A) and light use efficiency (B) in wheat during the growth period under the baseline conditions and different climate scenarios in the Torbat-e Jam

جدول ۵- میانگین متغیرهای رشدی و عملکرد دانه شبیه‌سازی شده در گندم آبی تحت چهار سناریوی تغییر اقلیم و دوره پایه

Table 5- Mean simulated variables of growth and yield in the irrigated wheat under the four scenarios of climate change and baseline period

سناریوها **Scenarios**	نوع خاک **Soil type**	طول دوره رشد رویشی تا گرده‌افشانی **Growth period till anthesis (days)**	طول دوره پر شدن دانه **Length of grain fill period (days)**	عملکرد دانه **Grain yield ($kg\ ha^{-1}$)**
دوره پایه baseline period	Clay loam	196.5 (4.01)	29.0 (1.8)	5074 (725)
	Loam	197.1 (4.1)	29.0 (1.6)	4992 (624)
	Sandy clay loam	196.3 (4.2)	29.0 (1.9)	4212 (853)
	میانگین Mean	196.6	29.0	4759
CPR2.6	Clay loam	193.7 (2.4)	27.2 (0.57)	6598 (281)
	Loam	193.8 (2.3)	27.2 (0.56)	6131 (366)
	Sandy clay loam	193.8 (2.3)	27.2 (0.56)	5095 (534)
	میانگین Mean	193.8	27.2	5941
	تغییرات نسبت به دوره پایه Variation compare to the baseline period (%)	-1.4	-6.2	+24.8
CPR4.5	Clay loam	193.7 (1.88)	27.0 (0.66)	6251 (316)
	Loam	193.6 (1.89)	26.9 (0.64)	5977 (225)
	Sandy clay loam	193.7 (1.87)	26.9 (0.69)	4897 (396)
	میانگین Mean	193.7	26.9	5708
	تغییرات نسبت به دوره پایه Variation compare to the baseline period (%)	-1.5	-7.2	+19.9
CPR6	Clay loam	193 (1.4)	26(0.26)	6394 (301)
	Loam	193 (1.5)	26(0.18)	6235 (350)
	Sandy clay loam	193 (1.5)	26(0.18)	5200 (516)
	میانگین Mean	193	26	5943
	تغییرات نسبت به دوره پایه Variation compare to the baseline period (%)	-1.8	-10.3	+24.9
CPR8.5	Clay loam	192.6 (2.10)	26.9 (0.41)	6673 (434)
	Loam	192.6 (2.10)	26.9 (0.41)	6185 (475)
	Sandy clay loam	192.6 (2.10)	26.9 (0.41)	5023 (523)
	میانگین Mean	192.6	26.9	5960
	تغییرات نسبت به دوره پایه Variation compare to the baseline period (%)	-2.0	-7.2	+25.2

اعداد داخل پرانتز بیاگر انحراف معیارها است.

Values in parentheses are standard deviations.

تغییرات عملکرد در آینده نزدیک با فرض تغییر مدیریت‌های زراعی

در سال‌های آتی، احتمال رخداد تنش خشکی ناشی از کاهش دسترسی به آب آبیاری به‌خاطر کاهش بارش‌ها و افزایش بی‌رویه استفاده از منابع آبی زیرزمینی در گذشته، بیشتر خواهد بود. در این شریط، افزایش راندمان مصرف آب آبیاری از جمله راهکارهای سازگاری به بحران کمبود آب در بخش کشاورزی خواهد بود. بنابراین اثر کاهش آب آبیاری قابل دسترس و از طرفی افزایش راندمان مصرف آب آبیاری نیز در فرآیند شبیه‌سازی تولید گندم مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور فرض شد که مجموع رطوبت حاصل از افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل و کاهش میزان بارش در طول دوره رشد گندم در شرایط تغییر اقلیم در مقایسه با دوره پایه، در آینده قابل تأمین از طریق منابع آب زیرزمینی نیست. درنتیجه حدود یک میلی‌متر در هر آبیاری و در مجموع ۳۰ میلی‌متر از مقدار کل آب آبیاری مصرفی در مدل کسر گردید. بدین صورت نتایج نشان داد که در شرایط کاهش میزان آب آبیاری به میزان حدود ۳۰ میلی‌متر در طول دوره رشد گندم (معادل ۳۰۰ مترمکعب در هکتار) بدون افزایش راندمان آبیاری، میزان متوسط افزایش عملکرد گندم در خاک‌های منطقه تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 به‌ترتیب حدود ۰/۸، ۲/۲، ۰/۱ و ۰/۴ درصد کمتر از سناریوی قبلی بود، که در آن میزان آب مصرفی ۳۰۰ متر مکعب بیشتر مصرف می‌شد (جدول ۶). با فرض کاهش میزان آب آبیاری و همزمان افزایش ۱۵ درصدی راندمان مصرف آب آبیاری (از ۵۵ به ۷۰ درصد) میزان متوسط عملکرد گندم در خاک‌های منطقه تربت‌جام در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 حدود ۲/۳، ۲/۳، ۲/۲ و ۰/۸ درصد بیشتر از سناریوی بود که در آن ۳۰۰ متر مکعب آب بیشتر ولی با راندمان آبیاری ۵۵ درصد استفاده شده بود (جدول ۶). پس در دامنه افزایش دمای ۱/۱ تا ۱/۸ درجه سانتی‌گرادی در طول دوره رشد گندم تا ۳۰ سال آینده و متوسط افزایش ۱۳ تا ۲۱ درصدی غلظت دی‌اکسید کربن تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیمی و با وجود کاهش آب قابل دسترس آبیاری به‌طور متوسط ۳۰۰ متر مکعب در هر هکتار در طول دوره رشد گندم، افزایش متوسط حدود ۲۰ تا ۲۷ درصدی عملکرد دانه گندم در آینده نزدیک محتمل خواهد بود. با توجه به اینکه نیاز آبی گندم منطقه حدود ۴۷۰۰ مترمکعب در طول دوره رشد توسط مدل برآورد شده (جدول ۴) و مجموع آبیاری و بارندگی احتمالی تا ۳۰ سال آینده نیز نیاز آبی گندم را پوشش داده است، در نتیجه افت عملکرد چندانی ناشی از کاهش مصرف آب آبیاری در هکتار مشاهده نشده است. نیاز آبی گندم در مشهد با استفاده از لایسمتر حدود ۵۴۰۰ متر مکعب تخمین زده شده است (Ghaemi *et al*., 2013). نیاز آبی گندم در مناطق مختلف گندم‌کاری دنیا نیز در حدود ۴۵۰۰ تا ۶۵۰۰ (به‌طور متوسط ۵۵۰۰) متر مکعب گزارش شده است (Brouwer and Heibloem, 1986). بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی برای تأمین نیاز آبی گیاهان و کاهش بارندگی‌ها، در دراز مدت منجر به عدم تعادل بین ورودی و خروجی منابع آبی زیرزمینی و در نهایت کاهش این منابع آبی خواهد شد (Zhang *et al*., 2013). از طرفی افزایش جمعیت و کاهش کیفیت آب در دراز مدت نیز باعث کاهش سهم آب قابل دسترس برای کشاورزی خواهد شد (Mo *et al*., 2012). اگرچه کل آب مصرفی به دلیل کاهش طول دوره رشد گیاهان ممکن است در شرایط تغییر اقلیم کاهش پیدا کند، ولی سرعت تبخیر و تعرق روزانه با توجه به افزایش نیاز بخار اتمسفری با افزایش دما افزایش خواهد یافت. افزایش سرعت تبخیر و تعرق روزانه می‌تواند میزان وقوع تنش‌های کوتاه مدت در طی ساعات گرم روز و همچنین شدت تاثیرگذاری تنش‌ها بر رشد گیاهان را در شرایط کم آبی افزایش دهد (Mo *et al*., 2017; Mo *et al*., 2012). مو و همکاران (Mo *et al*., 2017) گزارش کرند که میزان آب مورد نیاز در طول سال زراعی برای کشت تناوب گندم و ذرت در شرایط تغییر اقلیم افزایش خواهد یافت. آنها همچنین گزارش کردند به‌خاطر افزایش میزان تبخیر و تعرق سالانه ناشی از تغییر اقلیم، میزان ۴ تا ۲۴ درصد از آب مازاد بر تبخیر و تعرق که صرف پر شدن منابع آبی می‌شد کاسته خواهد شد. لازم به ذکر است که افزایش تبخیر و تعرق و کاهش میزان آب مصرفی ناشی از کمبود آب و آب‌شویی کمتر خاک ناشی از سیستم‌های آبیاری با راندمان بالاتر نهایتاً می‌تواند موجب شوری خاک نیز شود. افزایش شوری خاک نیز باعث کاهش ذخیره آب در خاک و کاهش رطوبت قابل دسترس گیاه و نهایتاً کاهش عملکرد گیاهان زراعی خواهد شد (Ashour and Al-Najar, 2012). آشور و النجار (Ashour and Al-Najar, 2012) با مطالعه میزان شوری در نوار غزه گزارش کردند که تاثیر تغییرات اقلیمی بر نیاز آبی گیاهان در خاک‌های با شوری بالا بسیار بیشتر از خاک‌های با شوری کمتر است. به‌علاوه افزایش جمعیت، تعداد نسل و تغییر عادت غذایی و توزیع جمعیت آفات گیاهی در مناطق زیر کشت در شرایط تغییر اقلیم نیز گزارش شده است (Castex *et al*., 2018). در مطالعه حاضر اثر تغییر اقلیم بر شوری خاک و پویایی آفات گیاهی در نظر گرفته نشده است که دلیل آن به‌خاطر عدم وجود مطالعات مرتبط و همچنین عدم توانایی مدل موجود برای شبیه‌سازی عوامل ذکر شده است. در نتیجه افزایش احتمالی پتانسیل تولید دانه گندم آبی در شرایط تغییر اقلیم با مد نظر قرار دادن پارامترهای تاثیرگذاری همچون شوری خاک و افزایش احتمالی خسارت آفات حتماً کمتر از مقدار برآورد شده توسط مدل‌های رشد گیاهان زراعی خواهد بود.

جدول ٦- میانگین عملکرد گندم شبیه‌سازی شده تحت چهار سناریوی تغییر اقلیم در شرایط کاهش آب آبیاری با وجود افزایش و عدم افزایش در کارایی سیستم آبیاری

Table 6- Mean of simulated yield of the irrigated wheat under the four scenarios of climate change in terms of reducing irrigation water with increasing and no increase in the irrigation efficiency

	نوع خاک	کارایی آبیاری ۵۵ درصد Irrigation efficiency of 50%	کارایی آبیاری ۷۰ درصد Irrigation efficiency of 70%
CPR2.6	Clay loam	6585(392)	6720(366)
	Loam	5982(395)	6041(354)
	Sandy clay loam	5133(553)	5270(516)
	میانگین Mean	5900	6010
	تغییرات نسبت به دوره پایه Variation compare to the baseline period (%)	+ 24.0	+ 26.3
CPR4.5	Clay loam	6203 (307)	6320 (331)
	Loam	5830 (238)	5858 (203)
	Sandy clay loam	4774 (370)	4901 (363)
	میانگین Mean	5602	5693
	تغییرات نسبت به دوره پایه Variation compare to the baseline period (%)	+17.7	+19.6
CPR6	Clay loam	6391(319)	6458(315)
	Loam	6206(383)	6352(350)
	Sandy clay loam	5246(488)	5345(547)
	میانگین Mean	5948	6052
	تغییرات نسبت به دوره پایه Variation compare to the baseline period (%)	+ 25.0	+27.2
CPR8.5	Clay loam	6652 (434)	6677 (407)
	Loam	6173 (534)	6188 (480)
	Sandy clay loam	4998 (545)	5067 (522)
	میانگین Mean	5941	5977
	تغییرات نسبت به دوره پایه Variation compare to the baseline period (%)	+24.8	+25.6

اعداد داخل پرانتز بیاگر انحراف معیارها است.

Values in parentheses are standard deviations.

نتیجه‌گیری

بررسی اثر تغییر اقلیم در منطقه تربت‌جام با استفاده از مدل رشد گیاهی نشان داد که در ۲۰ سال گذشته افزایش ۵ درصدی در عملکرد دانه گندم با فرض ثابت بودن غلظت دی‌اکسید کربن روی داده است. نتایج همچنین نشان داد که در ۳۰ سال آینده (۲۰۱۸-۲۰۴۷)، تغییر اقلیم تحت سناریوهای مختلف انتشار گازها، افزایش ۲۰ تا ۲۵ درصدی عملکرد دانه در گندم آبی را باعث خواهد شد. دمای بالاتر در شرایط تغییر اقلیم، که منجر به استقرار سریع‌تر بوته‌ها و حفظ رشد در ماه‌های سرد سال می‌شود و افزایش غلظت دی‌اکسید کربن به‌ترتیب مهمترین عوامل در افزایش جذب نور و راندمان مصرف نور و نهایتاً افزایش پتانسیل تولید ماده خشک گندم خواهند بود. بررسی اثر تغییر اقلیم با فرض کاهش دسترسی به آب آبیاری به میزان ۳۰۰ متر مکعب در هکتار در طول دوره رشد گندم نیز نشان داد که افزایش راندمان مصرف آب آبیاری به میزان ۷۰ درصد باعث جبران اثر کمبود آب و حفظ افزایش پتانسیل تولید گندم به میزان ۲۰ تا ۲۷ درصد در آینده خواهد شد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی اجرا شده از محل اعتبارات معاونت پژوهشی دانشگاه تربت جام می‌باشد.

References

1. Abeysingha, N. S., Singh, M., Islam, A., and Sehgal, V. K. 2016. Climate Change Impacts on Irrigated Rice and Wheat Production in Gomti River Basin of India: a case study. Springer Plus 5 (2): 1250-1270.
2. Ahmadi, F., and Radmanesh, F. 2014. Trend Analysis of Monthly and Annual Mean Temperature of the Northern Half of Iran Over the Last 50 Years. Journal of Water and Soil 28 (4): 855-865. (in Persian).
3. Ashour, E. K., and Al-Najar H. 2012. The Impact of Climate Change and Soil Salinity in Irrigation Water Demand in the Gaza Strip. Journal of Earth Science & Climatic Change 3 (2): 120-127.
4. Babaeyan, E., and Najafi-Nik, Z. 2011. Climate change analysis of Khorasan Razavi province using downscaling of GCM outflow during the period 2089-2020. Journal of Geography and Regional Development 15 (3): 24-32 (in Persian).
5. Brouwer, M., and Heibloem, A. E.1986. Irrigation Water Management: Irrigation Water Needs. FAO Training manual no. 3. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Via delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy.
6. Cammarano, D., Rötter, R. P., Asseng, Se., Ewert, F., Wallach, D., Martre, P., Hatfield, J. L., Jones, J. W., Rosenzweig, C., and Wolf, J. 2016. Uncertainty of Wheat Water Use: Simulated Patterns and Sensitivity to Temperature and CO_2. Field Crops Research 198 (11): 80-92.
7. Castex, V., Beniston, M., Calanca, P., Fleury, D., and Moreau, J. 2018. Pest Management under Climate Change: The Importance of Understanding Tritrophic Relations. Science of the Total Environment 616 (3): 397-407.
8. Dong, Z., Pan, Z., He, Q., Wang, J., Huang, L., Pan, Y., Han, G., Xue, X., and Chen, Y. 2018. Vulnerability assessment of spring wheat production to climate change in the Inner Mongolia region of China. Ecological Indicators 85 (2): 67-78.
9. Easterling, W. E. 2011. Guidelines for adapting agriculture to climate change. PP 282-321 in Hillel, D., Rosenzweig, C. (Eds.), Handbook of Climate Change and Agroecosystems: Impacts, Adaptation and Mitigation. Imperial College Press, London, United Kingdom.
10. Einy-Narghese, H., Deihimfar, R., Sofizade, S., Hagheghat, M., and Noori, O. 2015. Prediction of climate change on yield of wheat in Fars province using APSIM model. Journal of Crop production 8 (4): 203-224. (in Persian with English abstract).
11. Eyshi Rezaie, E., and Bannayan, M. 2012. Rainfed wheat yields under climate change in north eastern Iran. Meteorological Applications 19 (4): 346-354.
12. Fischer, G., Frohberg, K., Parry, M. L., and Rosenzweig, C. 1994. Climate change and world food supply, demand and trade: who benefits, who loses? Global Environmental Change 4 (1): 7-23
13. Frisch, M. 2015. Predictivism and old evidence: a critical look at climate model tuning. European Journal for Philosophy of Science 5 (2): 171-190.
14. Ghaemi, M., Raeini Sarjaz, M., and Mosavi, M. 2013. Estimating the crop coefficient and the water requirement of the Gascogne wheat by using energy balance method in Mashhad. Journal of Irrigation and Water Engineering 11 (10): 58-68
15. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2013. Climate change 2013: the physical science basis. In: Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V.,

Midgley, P. M. (Eds.), Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

16. Jones, P. G., and Thornton, P. K. 2003. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. Global Environment Change 13 (1): 51-59.
17. Kang, Y., Khan Sh., and Ma, X. 2009. Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security – A review. Progress in Natural Science 19 (12): 1665-1674.
18. Kimball, B. A., Kobayashi, K., and Bindi, M. 2002. Responses of agricultural crops to free-air CO_2 enrichment. Advances in Agronomy 77 (1) 293-368.
19. Kirby, E. J. M. 1990. Number of main shoot leaves in wheat as affected by temperature. Journal of Agricultural Science 45 (2): 270-279.
20. Knutti, R. 2016. Climate model confirmation: from philosophy to predicting climate in the real world. In: Lloyd L, Winsberg E., eds. Philosophical and Conceptual Issues in Climate Modelling. Chicago: University of Chicago Press.
21. Koocheki, A., and Kamali, G. A., 2010. Climate change and rainfed wheat production in Iran. Iranian Journal of Field Crops Research 8 (3): 508-520. (in Persian with English abstract).
22. Koocheki, A., and Nassiri, M. 2008. Impacts of climate change and CO2 concentration on wheat yield in Iran and adaptation strategies. Iranian Field Crops Research 6 (2): 139-153 (in Persian with English abstract).
23. Lal, M., Singh, K. K., Rathore, L. S., Srinivasan, G., and Saseendran, S. A. 1998. Vulnerability of rice and wheat yields in NW India to future changes in climate. Agricultural and Forest Meteorology 89 (2): 101-114.
24. Landau, S., Mitchell, R. A. C., Barnett, V., Colls, J. J., Craigon, J., Moore, K. L., and Payne, R. W. 2000. A parsimonious, multiple-regression model of wheat yield response to environment. Agricultural and Forest Meteorology 101 (2): 151-166.
25. Ludwig, F., and Asseng, S. 2006. Impacts and adaptation to climate change in Western Australian wheat cropping systems. Agricultural Systems 90 (1): 159-179.
26. Lv, Z., Liu, X., Cao, W., and Zhu, Y. 2013. Climate Change Impacts on Regional Winter Wheat Production in Main Wheat Production Regions of China. Agricultural and Forest Meteorology 172 (4): 234-248.
27. Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., van Vuuren, D. P., Timothy, R., Carter, T. R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G. A., Mitchell, J. F. B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S. J., Stouffer, R. J., Thomson, A. M., Weyant, J. P., and Wilbanks, T. W. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. Nature 463 (7282):747-756.
28. Meinshausen, M., Smith, S. J., Calvin, K., Daniel, J. S., Kainuma, M. L. T., Lamarque, J.-F., Matsumoto, K., Montzka, S. A., and van Vuuren, D. P. P. 2011. The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. Climatic Change 109 (1): 213-241.
29. Mo, X., Mo, Liu, S., and Lin, Z. 2012. Evaluation of an ecosystem model for a wheat-maize double cropping system over the North China Plain. Environmental Modelling & Software 32 (2): 61-73.
30. Mo, X. G., Hu, S. L., Lin, Z. H., Liu, S. X., and Xia, J. 2017. Impacts of Climate Change on Agricultural Water Resources and Adaptation on the North China Plain. Advances in Climate Change Research 8 (2): 93-98.
31. Mosaedi, A., Mohammadi-Moghaddam, S., and Ghabaei-Sough, M. 2015. Modelling Rain-fed Wheat and Barley based on Meteorological Features and Drought Indices. Journal of Water and Soil 29 (3): 730-749. (in Persian with English abstract).
32. Nicholls, N. 1997. Increased Australian wheat yields due to recent climate trends. Nature. 387 (7311): 484-485.
33. Nouri, M., Homaee, M., Bannayan, M., and Hoogenboom, G. 2016.Towards Modelling Soil Texture-Specific Sensitivity of Wheat Yield and Water Balance to Climatic Changes. Agricultural Water Management 177 (2): 248-63.
34. Prasad, P. V. V., Boote, K. J., Allen, Jr., L. H., Sheehy, J. E., and Thomas, J. M. G. 2006. Species, ecotype and cultivar differences in spikelet fertility and harvest index of rice in response to high temperature stress. Field Crops Research 95 (2/3), 398-411.
35. Rosenzweig, C., Jones, J. W., Hatfield, J. L., Ruane, A. C., Boote, K. J., Thorburn, P., Antle, J. M., Nelson, G. C., Porter, C., Janssen, S., Asseng, S., Basso, B., Ewert, F., Wallach, D., Baigorria, G., and Winter, J. M. 2013. The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP): protocols and pilot studies. Agricultural Forest Meteorology 170 (4): 166-182.
36. Sharatt, B. S., Knight, C. W., and Wooding, F. 2003. Climatic impact on small grain production in the Subarctic, in Region of the United States. Arctic 56 (3): 219-226.
37. Sommer, R., Glazirina, M., Yuldashev, T., Otarov, A., Ibraeva, M., Martynova, L., Bekenov, M., Kholov, B., Ibragimov, N., Kobilov, R., Karaev, S., M. Sultonov, F., Khasanova, M., Esanbekov, D., Mavlyanov, S., Isaev, S.,

Abdurahimov, S., Ikramov, R., Shezdyukova, L., and Pauw E. de. 2013. Impact of Climate Change on Wheat Productivity in Central Asia. Agriculture, Ecosystems & Environment 178 (1): 78-99.

38. Subash, N., and Ram Mohan, H. S. 2012. Evaluation of the Impact of Climatic Trends and Variability in Rice–Wheat System Productivity Using Cropping System Model DSSAT over the Indo-Gangetic Plains of India. Agricultural and Forest Meteorology 164 (1): 71-81.
39. Talliee, A., and Bahramy, N. 2003. The effects of rainfall and temperature on the yield of dryland wheat in Kermanshah province. Iranian Journal of Soil and Waters Sciences 17 (1): 9-18.
40. Tao, F. L., and Zhang, Z. 2013. Climate change, wheat productivity and water use in the North China Plain: a new super-ensemble-based probabilistic projection. Agric. Forest Mete Agricultural and Forest Meteorolog170 (1): 146-165.
41. Tatari, M. 2008. Dryland wheat yield prediction in Khorasan using climate and edaphic data by applying neural networks. PhD Dissertation, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
42. Thorburn, P. J., Boote, K. J., Hargreaves, J. N. G., Poulton, P. L., and Jones, J. W. 2015. Cropping Systems Modelling in AgMIP: A New Protocol-Driven Approach for Regional Integrated Assessments. Handbook of Climate Change and Agroecosystems: The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP) Integrated Crop and Economic Assessments. Imperial College Press, London, United Kingdom 80-99 pp.
43. Ventrella, D., Charfeddine, M., Moriondo, M., Rinaldi, M., and Bindi, M. 2012. Agronomic adaptation strategies under climate change for winter durum wheat and tomato in southern Italy: irrigation and nitrogen fertilization. Regional Environmental Change 12 (2): 407-419.
44. Wolf, J., Evans, L. G., Semenov, M. A., Eckersten, H., and Iglesias, A. 1996. Comparison of wheat simulation models under climate change. I. Model calibration and sensitivity analyses. Climate Research 7 (2): 253-270.
45. Zhang, G., Fei, Y., Liu, C., Feng, H., Yan, M., and Wang, J. 2013. Relationship between decline of shallow groundwater levels and irrigated agriculture on Hufu Plain of North China. Advances Water Science 24 (2): 228-234. (in Chinese).

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 1, Spring. 2019, p. 169-186

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۱۸۶-۱۶۹

Investigating the Impact of Climate Change on Irrigated Wheat Production under Torbat-e Jam Region for the Near Future

S. F. Saberali[1*], H. Nastari-Nasrabadi[2], M. Dostkhah -Ahmadi[3]

Received: 21-07-2018
Accepted: 18-09-2018

Introduction: Wheat production is an important component for national food security. Studying the impact of future climate change on crop production is crucial to manage crop productivity. Improving our understanding of potential responses of the wheat plant to these changes while taking into consideration agricultural management is required for identifying best adaptation strategies. In Khorasan Razavi province, over 12% of the total cultivated wheat area is belong to Torbat-e Jam region. The current study aimed to quantify the potential impacts of climate change on irrigated wheat yield in the next 30 years for this region.

Materials and Methods: In this study, information on regional cropping systems and meteorological data to study the effects of climate change were collected and finally, the impact of climate change on irrigated wheat yield was studied using simulation approaches under different climatic scenarios. Long-term daily weather data for future was generated using MarkSim weather generator software and the past meteorological data was gathered from regional weather station. Daily weather data generated by four scenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6, and RCP8.5 for a 30-year period. The generated and measured daily weather data was used for running CERES-Wheat model. Finally, crop model outputs were used to interpret climate change impacts on wheat growth and production.

Results and Discussion: The average air temperature during the wheat growth period showed that temperature increased about 1.6% in the last five years compared to the first five years of the baseline 30-years period. Furthermore, the average annual precipitation for the last 5 years was 51 mm less than the first 5 years of the baseline period. The air temperature will increase about 1.1, 1.6, 1.2 and 1.8 °C during the wheat growth period for the near future (30 years) under the RCP2.6, RCP4.5, RCP6, and RCP8.5 scenarios, respectively. The precipitation over the wheat growth period will reduce by 9 and 8% under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios, respectively. Furthermore, the precipitation over the growth period would increase by 11 and 17% under RCP2.6 and RCP6 scenarios, respectively. The simulated wheat yield by the CEREC-Wheat model showed that the grain yield increased by 5% in the first 5 years compared to the last 5 years of the baseline period (1998-2017). The biomass production and harvest index (HI) also increased by 2.3 and 1%, respectively. The increased dry matter production and HI can be due to temperature increase during the cold seasons, and more amount of precipitation during the reproductive growth. The simulated wheat growth during the near future period (2018-2047) showed that wheat growth cycle will reduce from 5 to 7 days under different emission scenarios. In the different soil textures, wheat yield under RCP2.6, RCP4.5, RCP6, and RCP8.5 scenarios will increase by 24.4, 19.9, 24.9 and 25.2%, respectively. Furthermore, the highest and the lowest yield were obtained from clay and sandy clay loam soils, respectively. Under the different emission scenarios, the mean incident light and light use efficiency during the growth period would be increased by 20.8-24.6% and 5.5-8.3%, respectively, in projected climate change as compare to baseline period. Reducing irrigation water as amount of 300 m^3 ha^{-1} and simultaneous increase in irrigation water use efficiency are possible incident scenarios for the near future. Based on these scenarios, simulations showed that grain yield increased 26.3, 19.6, 27.2 and 25.6 % under RCP2.6, RCP4.5, RCP6, and RCP8.5 emission scenarios, respectively.

Conclusions: The increased temperature and atmospheric CO_2 concentration during the next 30 years will decrease wheat growth cycle, but increase the potential biomass and grain wheat yield under the different

1 and 2- Assistant Professor, Department of horticulture science and engineering, High Educational Complex of Torbat-e Jam, Khorasan Razavi, Iran

3- Plant Production, Department of Agricultural Jihad, Torbat-e Jam, Khorasan Razavi, Iran

(*- Corresponding Author Email: sf.saberali@yahoo.com)

emission scenarios. The results showed that the increased yield production will occur under climate change conditions, even if the available irrigation water would decrease by 300 m^3 ha^{-1}.

Keywords: Diffusion scenario, DSSAT, MarkSim, Simulation, Temperature rise